

УДК 621.165

І. О. Темнохунд

*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків***ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА СТРУКТУРА ПЕРЕТВОРЕННЯ КОТЕЛЬНІ В МІНІ-ТЕЦ**

В статті систематизовано та проаналізовано електротехнічну структуру перетворення котельні в Міні-ТЕЦ. Розглянуто особливості роботи Міні-ТЕЦ з енергосистемою. Визначено послідовність вибору та встановлення обладнання що дозволить зробити найбільш раціональний вибір реконструкції. Впровадження сучасних технологій в енергетиці дозволить більш ефективно забезпечити власні потреби котельні в електроенергії та отримувати прибуток від реалізації її надлишків споживачам.

Ключові слова: енергосистема, режими роботи, Міні-ТЕЦ, когенерація, котельня.

Вступ

Згідно з повідомленнями Міністерства енергетики та вугільної промисловості виробництво електроенергії в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) в січні-вересні 2014 року скоротилося на 4,7% (на 6 млрд 645,8 млн кВт-год) порівняно з аналогічним періодом 2013 року – до 135 млрд 156,3 млн кВт-год, в Україні. У вересні 2014 р. виробництво електроенергії в Україні знизилося на 13,7% (на 2 млрд 14,7 млн кВт-год) порівняно з аналогічним місяцем 2013 року – до 12,663 млрд кВт-год.

АЕС, ТЕС і районні котельні Міненерговугілля за дев'ять місяців 2014 року скоротили випуск теплової енергії на 15,7% (на 2 млн 651,6 тис. Гкал) у порівнянні з аналогічним періодом до 14 млн 271,3 тис. Гкал. 2013 року. Зниження виробництва енергії пов'язано з дефіцитом та дорожчанням органічних видів палива, а також з експлуатацією застарілого енергетичного обладнання. Збільшення частки енергії виробленої АЕС та зниження ефективності роботи ГЕС і ГАЕС значно знижує маневрові можливості енергосистеми. Перспективним напрямком підвищення маневрових показників енергосистеми без збільшення використання органічного палива і покращення її екологічних характеристик може стати впровадження на великих районних котельнях когенераційних технологій [1-5].

Широкі можливості для цього відкривають нормативно-правові основи України: Енергетична стратегія України до 2030 року і подальшу перспективу, що зараз створюється (проект); Закон України “Про електроенергетику” (№ 575/97-ВР від 16.10.1997 з подальшими змінами); Закон України “Про альтернативні джерела енергії” (№ 555-IV від 20.02.2003); Закон України “Про енергозбереження” (№ 74/94-ВР від 01.07.1994 з подальшими змінами); Закон України “Про загальнодержавну програму реформування і розвитку житлово-комунального господарства на 2004-2010 року” (№ 1869-IV від

24.06.2004); Закон України “Про комбіноване виробництво теплової і електричної енергії (когенерацію) і використання скидного енергопотенціалу” (№ 2509-IV від 05.04.2005); Закон України “Про теплопостачання” (№ 2633-IV від 02.06.2005); Закон України “Про спеціальний режим інвестиційної та інноваційної діяльності технологічних парків” (№ 991-XIV від 16.07.1999 з подальшими змінами); Закон України “Державна програма реформування, модернізації і розвитку комунальної енергетики України” (проект) [1-12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У зв'язку з зазначеними вище причинами, а також подорожчанням енергоносіїв, виникла гостра необхідність у модернізації джерел тепла, мереж та обладнання об'єктів ЖКГ. Питанням використання когенераційних установок на підприємствах теплопостачання в ЖКГ присвячені дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених [1-2].

Постановка проблеми

Перетворення котельні в Міні-ТЕЦ зазнає складнощів зокрема через відсутність чіткого алгоритму виконання електротехнічних рішень при модернізації. Так зокрема в Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ) відсутні чіткі вимоги до електротехнічного обладнання Міні-ТЕЦ, що обумовлюють гарантовану купівлю електроенергії вироблену на модернізованій котельні що працює в режимі когенерації у разі надлишку електроенергії [5].

Мета. Систематизувати та проаналізувати електротехнічну структуру перетворення котельні в Міні-ТЕЦ (з урахуванням інтересів енергосистеми при впровадженні новітніх технологій).

Основні матеріали дослідження. Котельня → Міні-ТЕЦ ↔ Енергосистема. На протязі десятиліть в містах і великих населених пунктах, створювалась розгалужена система котельних для

централізованого теплозабезпечення та гарячого водопостачання що забезпечувала близько 85 % потрібної теплової енергії. Переважна більшість котельних муніципального теплопостачання, з відомих причин, у тому числі екологічних, працює на природному газі, завдяки чому доля газу у витратах палива на теплопостачання перевищує 75 %. У той же час, котельні мають невикористаний перепад тиску пари 3-6 атм з витратою пара 6-50 т / год. з якого можна реально отримати 200 - 1500 кВт електроенергії. Якщо пар після котла направляють в розширювальну машину, наприклад, парову турбіну, пов'язану з електрогенератором, за рахунок утилізації низькопотенційних, енергоресурсів можна отримати додатково відносно дешево електроенергію.

Вказаний напрямок є перспективним для енергетики в Україні у зв'язку з тим, що при цьому можуть бути використані різні механізми фінансування впровадження когенераційних установок в стислі терміни з використанням вже існуючого обладнання (котлів та приміщень котелень, насосного обладнання).

Основні напрямки реконструкції котелень: установка на парових котельнях парових турбін (паровинтових машин) замість редуційно - охолоджувальних установок; установка на водогрійних котельнях газових турбін і газопоршневих двигунів зі скиданням димових газів в топку котлоагрегату (водогрійний котел перетворюється в котел-утилізатор); використання термодинамічного циклу з органічним теплоносієм з метою виробництва електроенергії при утилізації тепла відхідних димових газів парового/водогрійного котла [1-8]. У першому випадку відсутня електроенергія береться з мережі на середній (6, 10, 35 кВ - великі та середні районні котельні) або низькій (0,4 або 0,66 кВ) напрузі. У другому випадку перетік на межі балансової належності, приблизно, дорівнює нулю. У третьому - надлишок над власними потребами віддається в мережу.

Котельня → Міні-ТЕЦ. При перетворенні котельні у Міні-ТЕЦ додається наступне електротехнічне обладнання :

1. Електрогенератор. До нього йде система збудження (у даний час напівпровідникова). У комплекті з генератором поставляється комутаційна апаратура: автоматичний вимикач (генераторна напруга до 1 кВ) та високовольтний вимикач (генераторна напруга вище 1 кВ).

Обладнання зазвичай поставляється у вигляді комплектних розподільних пристроїв. Причому повстає вибір між паралельним з енергосистемою та автономним режимами роботи генераторів Міні-ТЕЦ, між паралельним або роздільним режимами

роботи генераторів Міні-ТЕЦ між собою; забезпечення динамічної стійкості генераторів Міні-ТЕЦ при короткому замиканні в розподільній мережі 6 (10) кВ; забезпечення якості електроенергії в автономному режимі роботи генераторів Міні-ТЕЦ; забезпечення надійності живлення системи випрямленої оперативного струму при малих значеннях струмів короткого замикання (СКЗ) в автономному режимі роботи генераторів.

2. Акумуляторна батарея для мережі постійного струму з зарядно-підзарядними пристроями. Вона служить для живлення пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА), систем управління котельного і турбінного (ДВЗ) обладнання, приводів включення/відключення комутаційного обладнання, аварійного освітлення і зв'язку.

3. Реконструкція розподільчих пристроїв змінного струму мережі до та вище 1 кВ в зв'язку з установленням додаткової комутаційної апаратури. При необхідності можлива установка трансформаторів власних потреб, вибір між паралельним або роздільним режимами роботи силових трансформаторів на ГПП.

4. Реконструкція заземлюючого пристрою котельні (можливо різке збільшення струмів замикання на землю в мережі вище 1 кВ і струмів короткого замикання мережі до 1 кВ). Також може виникнути необхідність створення електрично незв'язаних заземлюючих пристроїв для особливо чутливого до перешкод електронного обладнання (системи управління, системи зв'язку).

5. Створення системи АСКОВЕ (автоматизована система комерційного обліку електроенергії) для збору, обробки, зберігання і передачі даних про генерацію та споживання електроенергії, забезпечення чутливості і селективності роботи релейного захисту та автоматики (РЗіА) у різних режимах роботи системи електропостачання.

Генерація електричної потужності на модернізованому котельному підприємстві. Вихідний вал ведучого ротора ДВС / турбіною з'єднується з електрогенератором. При роботі паралельно з електричною мережею 0,4 ; 6; 10 кВ на Міні-ТЕЦ доцільно використовувати асинхронний генератор (АГ), який є зверненням звичайного серійного асинхронного двигуна з короткозамкнутою обмоткою ротора і має такі переваги перед синхронним генератором (СГ):

- більш простий в обслуговуванні і надійний в експлуатації, ніж СГ, а вартістю удвічі нижчою, ніж СГ.

- не потребує системи синхронізації з мережею і в регуляторі збудження генератора;

- система захисту значно простіша, ніж у СГ, зважаючи на те, що струми короткого замикання у

АГ швидко згасають внаслідок зникнення магнітного поля в роторі;

- максимальні обороти серійно випускаємих асинхронних машин в діапазоні до 1 МВТ становлять 3000 об/хв, у той час як у СГ максимальні оберти становлять 1500 об/хв. Тому АГ може працювати з ДВС/турбіною або безпосередньо, або через редуктор з малим передавальним відношенням.

Недоліком використання у складі Міні-ТЕЦ АГ є споживання реактивної потужності з мережі і те, що серійно випускаються асинхронні машини в діапазоні близько 1 МВт мають повітряне охолодження, яке створює підвищену гучність від вентилятора. Зазвичай генератор, поставляється в комплекті з ДВС / турбіною.

Міні-ТЕЦ ↔ Енергосистема. При появі у системі електропостачання незалежного джерела у вигляді Міні - ТЕЦ важливою є реалізація електричної частини спільного виробництва теплової та електричної енергії, обумовлення кількості енергії що може виробляти Міні-ТЕЦ, якості електроенергії, погодження взаємовигідної роботи з урахуванням покриття пікових навантажень, використання нічного тарифу на електроенергію, перспектив акумулювання та обліку використаної енергії.

Міні-ТЕЦ можуть працювати в режимі недостатньої генерації, рівності або надлишку генерації та в режимі споживання генерованої енергії на власні потреби.

Облік електроенергії виконується на межі балансової належності. Дані, отримані з приладів обліку (багатофункціональних лічильників активної та реактивної енергії) надходять в автоматизовану систему контролю та обліку електроенергії. Вони обробляються, архівуються і передаються далі на більш високий рівень (обленерго, енергоринок). Вибір класу напруги генераторів обумовлений потужністю (до 250-300 кВт - 0,44/0,66 кВ, більше 500 кВт - 6,10 кВ), і, частково, напругою найбільш потужних споживачів власних потреб, встановлених на котельні. Широкі можливості в цьому напрямку відкриває розвиток інтелектуальних технологій в енергетиці [1-8].

Наступне питання - величина струмів короткого замикання у вузлі енергосистеми у місці підключення Міні - ТЕЦ, яке обумовлює вартість обладнання. При одному і тому ж класі напруги вартість зростає нелінійно зі збільшенням номінального струму (і струму короткого замикання, яке дане устаткування може витримати і відключити). Іноді обладнання доводиться брати на більший ніж потрібно номінальний струм, через величини саме струмів короткого замикання. При напрузі 6, 10, 35 кВ може постати питання

компенсації рівня струмів замикання на землю, що вимагає установку додаткового обладнання, що, в основному, стосується лише великих котельень. При установці генераторів потужністю вище 1 МВт може знадобитися реконструкція розподільчого пристрою зі зміною його схеми (секціонування, перехід на більш високий клас напруги).

Ще одне злободенне питання для української енергосистеми, - рівні напруг в різні зони доби. У зоні мінімального споживання (ніч) напруга перевищує 5% поріг, встановлений правилами технічної експлуатації для нормального режиму енергосистеми. У зоні піку (максимум) напруга навпаки нижче, перевищуючи 5% відхилення. Розглянуті Міні-ТЕЦ можуть самі бути регуляторами напруги в точках підключення, однак можливості регулювання досить вузькі, виходячи з потужності встановлюваних генераторів. Одночасно може знадобитися установка трансформаторів з регулюванням під напругою, якщо це технічно можливо і економічно доцільно.

Окремо слід обумовити питання підвищення надійності електропостачання споживачів, підключених до шин електростанції. У разі системної аварії відбувається виведення Міні-ТЕЦ на збалансоване навантаження засобами автоматики. Це особливо важливо при підключенні особливо відповідальних споживачів першої і частково другої категорії з надійності електропостачання. При наявності достатньої потужності Міні-ТЕЦ можливо її використання як засобу для розвороту зупинки енергетичних блоків ТЕЦ.

Управління Міні - ТЕЦ може й повинно виконуватися на сучасній елементній базі (програмовані логічні контролери, промислові комп'ютери) з обов'язковим резервуванням і зручним людино - машинним інтерфейсом. Більші можливості відкриваються при реалізації функції резервування, архівація даних технологічного процесу в подальшому може бути використана для аналізу і виробництва стратегії оптимального управління техпроцесом.

Висновки

При виконанні перетворення котельні в Міні-ТЕЦ важливо виконувати вибір та встановлення обладнання у визначеному порядку: вибір та встановлення генераторів → реконструкція релейного захисту та автоматики → реконструкція / встановлення мережі постійного струму з акумуляторною батареєю → створення автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії. Така послідовність дозволить зробити найбільш раціональний вибір обладнання.

Котельні перетворені у Міні – ТЕЦ розміщуються в безпосередній близькості від споживача теплової та електричної енергії, завдяки чому втрати у мережах зводяться до мінімуму. У вузлі навантаження, центром якого є дана конвертована котельня, підвищується надійність електропостачання.

Впровадження інтелектуальних технологій в енергетиці дозволить більш ефективно забезпечити власні потреби котельні в електроенергії та отримувати прибуток від реалізації її надлишків споживачам. З'явиться можливість підвищити надійність енергоспоживання споживачів першої категорії, знизити вартість переоснащення електричної частин при переводі котельні в Міні-ТЕЦ, зокрема за рахунок вибору обладнання на менші струми короткого замикання.

Література

- 1 Малайренко В. А., Перевод котельних в режим когенерації путем внедрения турбин малой мощности [Текст] / В. А. Малайренко, И. А. Темнохуод, А. В. Сенецкий, А. Ю. Петров // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Васеленка – 2014. Харків: ХНТУСГ №153. – ст. 110-111.
- 2 Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых турбин малой мощности / А.Л. Шубенко, В.А. Малайренко, А.В. Сенецкий, Н.Ю. Бабак // НАН Украины, Институт проблем машиностроения. – Харьков, 2014. – 320 с.
- 3 Малайренко, В. А. Потенциал интеграции когенерационных систем в малую энергетику Украины [Текст] / В. А. Малайренко, А. Л. Шубенко, А. В. Сенецкий, И.А. Темнохуод. - Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2012.- Вип.-№4. - С. 11-17. – 162 с.
- 4 Електронний ресурс - <http://forbes.ua/ua/news/1381041-ukrayina-znizhuv-virobnictvo-elektroenergiyi> За матеріалами: Інтерфакс-Україна останнє звернення 18.01.15.
- 5 Електронний ресурс - <http://forbes.ua/ua/news/1381041-ukrayina-znizhuv-virobnictvo-elektroenergiyi> Правила улаштування електроустановок [Тест] останнє звернення 19.05.15.
- 6 Возможности повышения энергоэффективности тепловых сетей путем внедрения когенерации [Текст] / С. Ю. Андреев, В. А. Малайренко, И. О. Темнохуод, О. В. Сенецкий // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.:НТУ «ХПІ», 2015. - №17(1126). 147-155 с. – ISSN 2078-774X.
- 7 Перелік законодавчих актів, що регулюють ринок відновлюваних джерел енергії в Україні [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://banisaenergy.com/uk/normativno-pravova-baza> — Останнє звернення : 04.05.2015. – Загол. з екрана.
- 8 Березин, С. Р. Технология энергосбережения на базе паровой винтовой машины [Электронный ресурс] / С. Р. Березин, А. И. Богачева; Издается порталом по энергосбережению ЭнергоСовет.ру <http://www.energosovet.ru> // Электронный журнал «ЕНЕРГОСОВЕТ». – 2010. – август-сентябрь. – № 7(12).

- С. 33–38. – Электрон. дан. (1 файл). – Режим доступа: <http://www.rosteplo.ru/news.php?zag=1285913666>. – 12.12.2014.
- 9 Baldwin S. F. Energy technologies for developing countries: US policies and programs for trade and investment [Text] / S. F. Baldwin, S. Burke, J. Dunkerley, P. Komor // Annu. Rev. Energy and Environ. – Palo Alto (Calif.), 1992. – Vol. 17. – P. 327-358.
- 10 Current Issues on Operation and Management of Distributed Resources [Text] / F. Batrinu, G. Chicco, R. Pomrube and other // 5th Int. World Energy System Conf., Oradea, Pomania, May 17-19, 2004. – P. 31-36.
- 11 Thermoflow. Comprehensive thermal engineering software [Электронный ресурс]: официальный сайт разработчика – Thermoflow, Inc., Sudbury, USA – Электрон. дан. (1 pdf файл, 957,118 кб) – Систем. требования: Adobe Reader – [2008]. – Режим доступа: <http://www.thermoflow.com/PDFs/ThermoflowBrochure2002.pdf>. – Загл. с экрана.
- 12 Закон України «Про енергозбереження» <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр> // 1994, N 30, 1994 - ст.284: Інтерфакс-Україна останнє звернення 18.01.15.
- 13 Thermoflow [Электронный ресурс]: официальный сайт – Thermoflow, Inc., Sudbury, USA [2008]. – Режим доступа: <http://www.thermoflow.com>. – Загл. с экрана.

References

1. Malyarenko V. A., Boiler-house mode changing for cogeneration by way of low-power turbine introduction [Script] / Malyarenko V. A., I. A. Temnokhud, A. V. Senetskiy, A. U. Petrov // The Bulletin of Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Rural Economy – 2014. Kharkiv: KPVNTURE №153. – P. 110-111.
2. Cogeneration technologies in the branch of power industry based on the low-power steam turbine use/ A.L. Shubenko, Malyarenko V. A., A. V. Senetskiy, N. U. Babak // NAS of Ukraine, Mashine-building Institute. – Kharkiv, 2014. – 320 p.
- 3 Malyarenko V. A., The potential of integration of cogenerational systems used in small power industry of Ukraine [Script] / Malyarenko V. A., A. L. Shubenko, A. V., A. V. Senetskiy, I. A. Temnokhud. – The integrated technologies and energy conservation // Quarterly science and practice journal. - Kharkiv: NTU «KPI». - 2012.- Ed.-№4. - P. 11-17. – 162.
- 4 Electronic resource - <http://forbes.ua/ua/news/1381041-ukrayina-znizhuv-virobnictvo-elektroenergiyi> Based on resources of: "Interface-Ukraine" last visited 18.01.15.
- 5 Electronic resource - <http://forbes.ua/ua/news/1381041-ukrayina-znizhuv-virobnictvo-elektroenergiyi> The rules of energy installations supply [Script] last visited 19.05.15.
- 6 Possibilities of power efficiency of heating networks by way of implementing cogeneration [Script] / S. U. Andreyev, Malyarenko V. A., I. O. Temnokhud, A. V. Senetskiy // The Bulletin of NTU «KPI». Series: Power and Heating engineering processes and equipment. – K.: NTU «KPI», 2015. - №17(1126). 147-155 с. – ISSN 2078-774X.
- 7 The list of legislative acts, that regulate the market of renewable sources of energy in Ukraine [Electronic resource]: Mode of access: <http://banisaenergy.com/uk/normativno-pravova-baza> — Last visited: 04.05.2015. – Title on the screen.
- 8 Berezin, S. R. Energy conservation technologies on the basis of the steam spiral machine [Electronic resource] / Berezin, S. R., A. I. Bogachyova; Edited with the portal in Energy conservation Energosovet.py <http://www.energosovet.ru> //

Electronic journal «ENERGOSOVET». – 2010. – August-September. – № 7(12). – P. 33–38. – Electronic. data. (1 file). – Mode of access: <http://www.rosteplo.ru/news.php?zag=1285913666>. – 12.12.2014.

9 Baldwin S. F. Energy technologies for developing countries: US policies and programs for trade and investment [Text] / S. F. Baldwin, S. Burke, J. Dunkerley, P. Komor // Annu. Rev. Energy and Environ. – Palo Alto (Calif.), 1992. – Vol. 17. – P. 327-358.

10 Current Issues on Operation and Management of Distributed Resources [Text] / F. Batrinu, G. Chicco, R. Pomrube and other // 5th Int. World Energy System Conf., Oradea, Romania, May 17-19, 2004. – P. 31-36.

11 Thermoflow. Comprehensive thermal engineering software [Electronic resource]: official site of developer – Thermoflow, Inc., Sudbury, USA – Electronic. data. (1 pdf file, 957,118 Kb) – Systems of demand: Adobe Reader – [2008]. – Mode of access: <http://www.thermoflow.com/PDFs/ThermoflowBrochure2002.pdf>. – Title on the screen.

12 The law of Ukraine «Of power consumption» <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-ep> // 1994, N 30, 1994 - art.284: Interfax-Ukraine last visited 18.01.15.

13 Thermoflow [Electronic resource]: official site – Thermoflow, Inc., Sudbury, USA [2008]. – Mode of access: <http://www.thermoflow.com>. – Title on the screen.

Рецензент: Шульга Микола Олександрович
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, д.т.н. проф., зав. каф. тепохолодообігріву.

Автор: ТЕМНОХУД Інна Олександрівна
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, асистент кафедри електропостачання міст
E-mail innatemnokhud@mail.ru

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ В МИНИ-ТЭЦ

И. А. Темнохуд

В статье систематизирована и проанализирована электротехническая структура преобразования котельной в Мини-ТЭЦ. Рассмотрены особенности работы Мини-ТЭЦ с энергосистемой. Определена последовательность выбора и установки оборудования, что позволит сделать наиболее рациональный выбор реконструкции. Внедрение современных технологий в энергетике позволит более эффективно обеспечить собственные нужды котельной в электроэнергии и получать прибыль от реализации ее излишков потребителям.

Ключевые слова: энергосистема, режимы работы, Мини-ТЭЦ, котельная.

THE ELECTRICAL PATTERN OF A BOILER-HOUSE RENOVATION INTO A MINI-TES

I. O. Temnokhud

The electric and engineering pattern of a boiler-house renovation into a mini-Thermal Electric Station (a mini-TES) has been schematized and analyzed in the article. The factors of a mini-Thermal Electric Station operation together with the grid have been considered. The options order and fittings installation which allow to make the most rational choice of renovation have been developed. The implementation of a new technology of Power Industry will allow us to maximize the supply efficiency of boiler-house own needs considering it as a power generation system and to gain money from its overflow to consumers. Boiler-houses renovated into a mini-Thermal Electric Station are on hand to consumers using heat and power supply whereby circuit losses are being reduced to minimum. A voltage unit, the centre of which is the above-mentioned convertible boiler-house, optimizes the power supply margin of safety.

Key words: grid, modes of operation, mini-Thermal Electric Station (mini-TES), cogeneration, boiler-house.